



机加工中的振动问题

刘景旺 庞金富

(华北航天工业学院 廊坊 065000)

系统在粘滞阻力的作用下,振幅随时间而减少的振动称阻尼振动。在运动速度不大时,可认为振动系统受到的粘滞阻力 $\vec{f}_r$ 与速度 $\vec{v}$ 成正比,方向与速度相反,即 $f_r = -\gamma v$ 。其中, γ 称为粘滞阻力系数。于是,阻尼振动方程为:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + Kx = 0$$

实际情况中,更多的是振动系统在外来周期力的持续作用下所发生的振动,即受迫振动,在机加工中称之强迫振动。设此外来周期外力的形式为 $F = F_0 \sin \omega t$ (其中 F_0 是强迫力的力幅, ω 称为强迫力的角频率),于是振动系统受力为 $-Kx - \gamma \frac{dx}{dt} + F_0 \sin \omega t$,强迫振动方程为 $m \frac{d^2 x}{dt^2} + Kx + \gamma \frac{dx}{dt} = F_0 \sin \omega t$

在解这个微分方程时,通常设

$$2\delta = \frac{\gamma}{m} \quad q = \frac{F_0}{m} \quad \omega_0^2 = \frac{K}{m} (\omega_0: \text{固有频率})$$

于是,原方程变为

$$\ddot{x} + 2\delta \dot{x} + \omega_0^2 x = q \sin \omega t$$

它的特解为 $x = A \sin(\omega t - \varphi)$

其中: A 是强迫振动的振幅

φ 是振动振幅与强迫力的相位差

在初始条件 $t = 0$ 时, $F = 0$ 的条件下,

$$\begin{cases} A = \frac{q}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} \\ \varphi = \tan^{-1} \frac{2\delta \omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \end{cases}$$

物质结构的研究是一个古老的话题,是研究物质存在形式的本质问题,物质结构的组元夸克是否还可以继续往下分,似乎已经达到了现有知识和条件的极限,短期内很难有突破性的进展。将来的研究不光要了解物质的结构,更应进一步解释为什么这样,这样对其他学科的进展都会有极大的推进作用。

振动图线如图 1 所示。可以看出,强迫振动系统在强迫力作用下,开始时振动情况较复杂,但经过一段时间后,系统就进入了稳定振动状态。

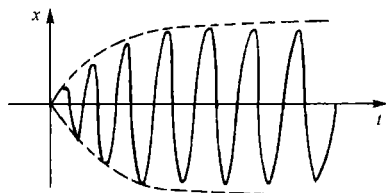


图 1

一、机加工中床身的强迫振动

在机加工中,若有振动问题出现,一般会使工件和刀具产生相对位移,从而会改变工件和刀具之间的正常运动轨迹。这不仅会恶化了加工表面的质量精度,还会缩短刀具寿命。随着高精度加工工艺的要求,振动问题已成为专题研究课题。其中,强迫振动的成分就占了振动问题的 1/3。

我们来研究最一般的机床床身振动问题。图 2 是机床安装的简图,我们可以把它模型化。若把机床和床身的整体视作质量块 m ,把参与振动的土壤

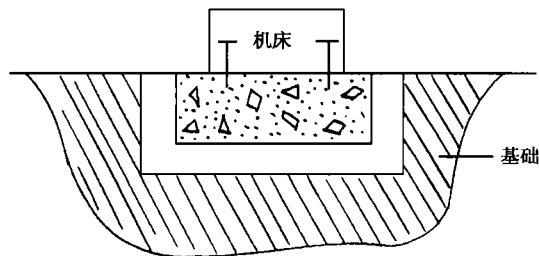


图 2

从哲学的角度讲,任何事物都是相互联系的。同样,作为高职院的教授来讲应该多涉猎和了解其他学科的进展和动态。他山之石,可以攻玉。各学科知识的比较可以激发出灵感的火花,去开展创造性的工作。因此,国家教委改革了高校的招生制度,取消了考生的年龄限制,提倡人们终身学习,提高素质,为祖国的繁荣富强添砖加瓦。

视为无质量的弹簧 K , 于是, 它可以简化为一弹簧质量系统。

如果只考虑竖直方向的振动, 且考虑系统同时受到粘滞阻力和竖直方向的强迫力, 则机床做的是强迫振动。在进入持续的等幅强迫振动状态时, 其振动方程的解 $x = A \sin(\omega t - \varphi)$ 。

需要注意的是, 在工程应用领域, 尤其关注的是强迫振动的振幅。因为若振幅超过允许限度就会使机器构件产生过大的应力而导致破坏。下面我们就来讨论几种特殊情况。

(I) 当 $\omega \gg \omega_0$ 时,

$$\text{由 } A = \frac{q}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}} \text{ 可知 } (\omega_0^2 - \omega^2)^2 \approx \omega^4$$

又 $\delta = \gamma/(2m)$ 不大, $4\delta^2\omega^2$ 与 ω^4 相比可略

$$\therefore A \approx q/\omega^2 \approx 0 \quad \text{说明振幅很小}$$

(II) 当 $\omega \ll \omega_0$ 时

$$A \approx \frac{q}{\omega_0^2} = \frac{F_0/m}{K/m} = \frac{F_0}{K}$$

这说明: 强迫振动的振幅与强迫力的振幅成正比。因此降低振幅的办法是按比例地改变强迫力的幅值。

(III) 当 $\omega \approx \omega_0$ 时

$$A = \frac{q}{2\delta\omega}$$

这说明: δ 的大小对强迫振幅的大小起着相当决定的作用。我们不妨称 $\delta = \gamma/2m$ 为阻尼因数。故 δ 不大时, 振幅可以很大。利用微分求极值的方法可以证明, 当强迫振动角频率 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$ 时, 振幅达最大, 此时幅值为

$$A_{\gamma} = \frac{q}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$$

这种振幅达最大值的现象称为共振, 由 $\varphi = \tan^{-1} \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$ 还可以看出, 当 $\omega \approx \omega_0$ 时, $\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}$, 这是共振时的一个重要特征。今后我们可以根据强迫振动的振动状态是否有“反相”, 即可判断共振频率。

二、偏心质量引起的强迫振动

在机加工中, 机床主轴、皮带轮、砂轮等都是旋转部件。由于质量中心的偏离也会引起强迫振动。这乃是一种比较普遍的情况。

工程中最简单的例子是将电机按装在槽钢做成

的简支架上, 如图 3 所示。

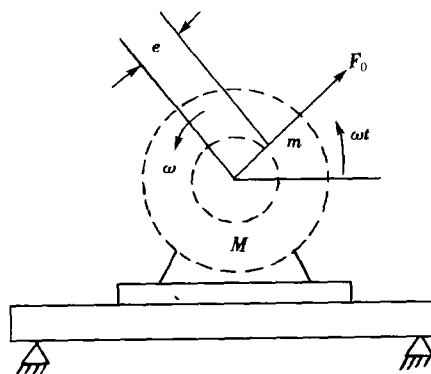


图 3

设电机质量为 M ; 转子偏心质量为 m ; 偏心距离为 e ; 电机转速为 n , 则角频率为 $\omega = 2\pi n/60$ (rad/s)。于是, 由于质量偏心在竖直方向上产生的强迫力为

$$F_d = F_0 \sin \omega t = me\omega^2 \sin \omega t$$

它的振动方程为

$$M\ddot{x} + \gamma\dot{x} + Kx = me\omega^2 \sin \omega t$$

其特解形式为 $x = A \sin(\omega t - \varphi)$

$$A = \frac{Me\omega^2/M}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}}$$

其中

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

可见, 要减小振幅 A , 就得减小偏心距, 因此, 旋转部件都要求质量分布应尽量均匀。但砂轮制作中, 一般很难保证密度的均匀性, 因此肯定有质量偏心; 另外, 由于旋转部件的材料密度不均匀、有杂质或气孔、形状的不规则等都会引起质量偏心, 因此, 在机加工中就有减振、隔振问题。如齿轮精度不高, 啮合时会产生一种冲击, 从而振动就会带来噪声, 故精密机床上已用叶片泵或螺旋泵取代齿轮泵; 最后, 要注意共振问题。在结构设计时, 一定要考虑工艺系统各部件的固有频率应远离干扰振源的频率, 尽量避开共振区, 以免引起共振的发生。

